

На правах рукописи

Хикматуллина Гульшат Радиковна

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ ЛИСТЬЕВ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ
УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ**

Специальность 03.02.08 - экология

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук**

Казань – 2013

Работа выполнена на кафедре ботаники и экологии растений
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Баранова Ольга Германовна
ФГБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет», г. Ижевск

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Егошина Татьяна Леонидовна
ФГБОУ ВПО «Вятская государственная сельскохозяйственная академия», г. Киров

кандидат биологических наук, доцент
Жукова Ольга Валерьевна
ФГБОУ ВПО Марийский государственный университет, г. Йошкар-Ола


Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Самарский государственный университет», г. Самара

Защита диссертации состоится «__» _____ 2013 г. в ____ часов __ минут на заседании диссертационного совета ДМ 212.081.19 при ФГОУ ВПО «Казанский (Приволжский) Федеральный университет» по адресу: 420008, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18.

Факс: (843) 238-76-01; e-mail: attestat.otdel@ksu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) Федерального университета по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 35.

Автореферат разослан «__» _____ 2013 года

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент  Р.М. Зелеев

Актуальность исследования. Листья растений чрезвычайно разнообразны по форме и строению, поэтому изучение их представляет особый интерес при оценке морфологической изменчивости растений (Проблемы экологической..., 1976; Биоиндикация..., 2007; Корона, Васильев, 2007). Такое внимание к признакам листа связано с тем, что лист является одним из главных органов, связанных с функционированием растений и более подвержен к адаптации ко вполне определенным, специфическим условиям существования (Банаев, Шемберг, 2000). У одного и того же вида растений нередко встречаются листья одинаковой формы, но существенно отличающиеся по размеру, и наоборот, листья одного размера часто отличающийся по геометрической форме контура (Корона, Васильев, 2007). Данные различия могут быть связаны как с онтогенетическими факторами, которые формируют у листьев такие различия, так и с условиями внешней среды (Корона, Васильев, 2007). Неоднократно многими исследователями отмечено закономерное уменьшение площади листовой пластинки, длины черешка листа и длины жилки листовой пластинки у листьев растений, произрастающих в условиях городской среды (Маргайлик, Трухановский, 1969; Кузьмин и др., 1989; Ситникова, 1990). Однако совокупное изучение морфометрических, геометрических и структурных характеристик морфологического строения листа показывает не закономерные, а разнонаправленные отличия в размерах и форме листовой пластинки у растений в урбанизированной среде, выявление и количественная оценка которых имеет важное значение, как для микроэволюционной теории, так и для экологических исследований.

Цель и задачи исследования. Целью настоящей работы является исследование фенотипической изменчивости морфологических признаков листьев трех видов древесных растений: березы повислой (*Betula pendula* Roth), липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) и клена платановидного (*Acer platanoides* L.), наиболее распространенных в городских насаждениях в Удмуртской Республике и Республике Татарстан.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести сравнительный анализ изменчивости морфометрических, геометрических и структурных признаков листа трех изученных видов в условиях урбанизированной среды.

2. Оценить сезонную и годовую динамику изменчивости листьев трех видов древесных растений и выявить особенности адаптации их к условиям городской среды.

3. Охарактеризовать сходство и различие листьев исследованных особей растений в экологически различающихся местах произрастания с помощью дискриминантного и кластерного анализов.

4. Провести анализ признаков формы контура листовых пластинок трех видов древесных растений в различных условиях произрастания.

5. Проанализировать изменчивость количественных несимметричных и билатеральных признаков листовых пластинок трёх указанных видов, произрастающих в разных условиях урбанизированной среды и оценить качество среды по уровню асимметрии листовой пластинки.

Научная новизна. Впервые проведен комплексный сравнительный анализ морфометрических, геометрических и структурных признаков листьев *B. pendula*, *T. cordata* и *A. platanoides* в условиях городов Ижевск, Воткинск и Агрыз. Установлены разнонаправленные отличия по размерам и форме листовых пластинок у деревьев, произрастающих в техногенно-нарушенных урбоэкосистемах. Проведено сравнение форм листовых пластинок у особей *B. pendula*, *T. cordata* и *A. platanoides* в экологически различающихся местах произрастания и выявлено, что в условиях урбанизированной среды наиболее изменчивы формы листьев *B. pendula* и *A. platanoides*. Впервые предложена возможность применения метода геометрической морфометрии для диагностики загрязнений окружающей среды. Экспериментально доказано влияние условий произрастания на уровень асимметрии листьев *B. pendula* и *T. cordata*. По показателям флуктуирующей асимметрии листьев *B. pendula* и *T. cordata* впервые проведена балльная оценка качества среды исследуемых городов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Выявленные морфологические отличия по совокупности морфометрических, геометрических и структурных признаков листьев древесных растений позволяют дать достоверную характеристику и оценку условий мест произрастания видов в магистральных и парковых участках гг. Ижевск, Воткинск и Агрыз.

2. У всех исследованных видов существуют различные механизмы адаптации к условиям урбанизированной среды, проявляющиеся в виде ксерофитизации листовой пластинки, уменьшения длины черешка листа, увеличения длины или ширины листовой пластинки, растяжения или сужения основания и верхушки листовой пластинки.

3. Листья особей *Betula pendula* и *Acer platanoides* из мест разных по условиям произрастания различаются как по морфометрическим (уменьше-

ние или увеличение параметров), так и по форме контура листовой пластинки (у *Betula pendula* меняется от треугольной до ромбовидной, у *Acer platanoides* от удлинённой до широкой формы, с расширенной центральной лопастью). Тогда как листья особей *Tilia cordata* из контрастных экологических мест произрастания различаются только по морфометрическим параметрам листа.

4. Уровень флуктуирующей асимметрии у листьев *Betula pendula* и *Tilia cordata* зависит от экологических условий мест произрастания: при удовлетворительном состоянии окружающей среды показания минимальны, при увеличении негативного воздействия – возрастают.

Апробация работы. Основные результаты работы были представлены на VII международной научно-практической конференции «Образование и наука без границ - 2011» (Пшечмысль, 2011), IX Всероссийской научно-практической конференции «Зырянские чтения» (Курган, 2011), XVI Международной экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территорий» МЭСК – 2011 (Новосибирск, 2011), II Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Экология и природопользование: прикладные аспекты» (Уфа, 2012), заседаниях Удмуртского регионального отделения Русского Ботанического общества (2008-2012).

Теоретическая и практическая значимость. Полученные в работе результаты и обобщения по изменчивости морфологических параметров листьев и оценка качества городской среды по характеру флуктуирующей асимметрии листовой пластинки вносят существенный вклад в решение экологических проблем на территории региона и могут быть использованы в широком аспекте природоохранных мероприятий. Представленный в диссертации материал о разнонаправленности стратегии роста и развития листа расширяет и углубляет представления о морфологической изменчивости листьев древесных растений в условиях урбанизированной среды. Результаты изменчивости форм листовых пластинок, полученные методом геометрической морфометрии, могут являться основой для проведения в дальнейшем биомониторинговых работ в городских условиях. Кроме того, полученные данные могут использоваться при чтении курсов в вузах: Ботаника (морфология растений), Экологическая морфология растений, Фенология растений, Урбоэкология, а также при проведении учебно-полевых практик студентов по общей экологии.

Организация, объем исследований и личный вклад автора. В основу работы положены исследования автора с 2009 по 2011 гг. Видовое определе-

ние, сбор материала, формирование гербарной коллекции, камеральная обработка и анализ полученных данных были проведены автором самостоятельно.

Публикации: По теме диссертации опубликованы 7 работ, из них 3 – в периодических изданиях, входящих в Перечень ВАК РФ.

Объем и структура диссертации: Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка цитируемой литературы. Работа изложена на 186 страницах машинописного текста, включает 39 рисунков, 14 таблиц и 4 приложения. Список литературы содержит 245 источника, в том числе: 8 – ресурсы сети Интернет и 48 – на иностранных языках.

Содержание работы

ГЛАВА 1. ЛИСТ – КАК ПРЕДМЕТ ИЗУЧЕНИЯ В МОРФОЛОГИИ И ЭКОЛОГИИ РАСТЕНИЙ

В главе приводится анализ литературных данных по описанию особенностей развития и роста листа (Эйхлер, 1869; Гофмейстер, 1868; Серебряков, 1947; Полевой, Саламатова, 1991; Бавтуто, Еремин, 1997; Серебрякова, 2006 и др.), дана морфологическая характеристика листа (Серебряков, 1952; Бавтуто, Еремин, 1997; Бавтуто, 2002; Лотова, 2001; Андреева, 2005; Серебрякова, 2006; Джан, 2006 и др.). Рассмотрены подходы к изучению и описанию пространственной конструкции и изменчивости листа по совокупности биометрических (размеры листа), геометрических (форма листовой пластинки) и структурных (число визуально различимых частей: зубчики, лопасти, жилки и любые другие дискретные элементы, и их пространственное расположение) признаков (Мэннинг, 1985; Злобин, 1989; Животовский, 1991; Корона, Васильев, 2007; Жукова, 2008). Приведены сведения по изученности влияния климатических факторов (Махнев, 1986, 1987; Васильев, 1988; Иванова, Пьянков, 2002; Kim, Cho, 2006; Semchenko, Zobel, 2007; Niinemets et al., 2007; Структурные параметры..., 2008; Мигалина и др., 2010 и др.) и техногенной нагрузки (Кулагин, 1974; Бессонова, 2000; Неверова, Колмогорова, 2002; Турмухаметова, 2005 и др.) на изменчивость морфологических характеристик листа.

ГЛАВА 2. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ ТЕРРИТОРИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория районов исследования расположена на востоке Русской равнины, в Среднем Предуралье (Широбоков, 1972; Татарская энциклопедия, 2002), включает в себя южную часть Удмуртской Республики и северную часть Республика Татарстан.

Подробнее природные условия районов исследования в целом, а также метеорологические условия в годы исследования, освещены в тексте диссертации (глава 2, Приложение 1).

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования были выбраны *Betula pendula* Roth, *Tilia cordata* Mill. и *Acer platanoides* L. в связи с тем, что они являются типичными и равномерно произрастающими видами древесных пород для районов исследования и широко применяются в озеленении городов Удмуртской Республики и Республики Татарстан.

Сбор материала проводили в 13 участках: магистральные (Б2, Б5, Б6, Л2, Л5, Л6, К2, К5, К6) и парковые насаждения (Б3, Б4, Б7, Л3, Л4, Л7, К3, К4, К7) древесных пород гг. Ижевск, Воткинск и Агрыз (рис.1). Все три города относятся к разной категории по оснащенности промышленных предприятий, градостроительной системы и по площади населенных мест. В связи с этим стоит вопрос об исследовании качества среды по морфологическим параметрам листьев древесных растений таких малоизученных городов, как г. Воткинск и г. Агрыз, сравнительно с одним из крупных промышленным центром РФ г. Ижевск. В качестве зоны условного контроля (Б1, Л1, К1) выбран широколиственный лес, расположенный в Киясовском районе Удмуртской Республики, на границе с Республикой Татарстан.



Рисунок 1. Места расположения участков сбора материала

Исследования проводили с 2009 по 2011 год, в течение вегетационного периода: июнь, июль, август. В каждом из участков исследовали по пять деревьев. Возраст растений, используемых для наблюдения, примерно одинаков (25-30 лет). С каждого опытного дерева с южной стороны кроны, обращенной к дороге, с высоты 1,5 - 2 м от земли, срывали по 30 неповрежденных максимально развитых листьев (Васильев, 1988). Все листья с целью долговременного хранения гербаризированы и этикированы, условия хранения гербарных образцов одинаковы. Общее количество собранных листьев составляет 28350 штук.

Для изучения морфометрической изменчивости листа с помощью программы AutoCAD-04 были сняты следующие параметры: длина (Ll) и ширина (Dmx) листовой пластинки; длина черешка (Lч); расстояние ширины листа от верхушки (SDmxT) и от конца листа (SDmxB); ширина листа на расстоянии 1,0 см от верхушки (DmnT) и от его нижнего конца (DmnB) (Васильев, 1988; Гашева, 2010), из которых по методу Ю.А. Филипченко (1968) составлен комплекс 16 индексов (Lч/Ll, Dmx/Ll, SDmxT/Ll, DmnT/Ll, Lч/Dmx, SDmxT/Lч, DmnT/Lч, DmnT/Dmx, DmnB/Dmx, SDmxB/Dmx, DmnT/SDmxT, SDmxT/Dmx, SDmxB/Ll, SDmxB/Ll, SDmxB/Lч, SDmxB/SDmxT, DmnT/DmnB). Площадь листовой пластинки (S) вычислена с помощью двух программ: Photoshop CS3 и Scion Image. Изменчивость формы и структурных элементов листовой пластинки *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Acer platanoides* выявляли в пакете компьютерных программ серии TPS (метод тонких пластин): в экранном дигитайзере TPSdig осуществляли расстановку 19, 20 и 28 меток ("landmarks") по контуру листовой пластинки у изучаемых видов соответственно; далее для каждой выборки получены усредненные конфигурации листовой пластинки, изменения формы в виде векторов и трансформационной решетки (TPSSuper), изменения формы в динамике, относительные координаты листовых пластинок (TPSRelw). Значения листовых пластинок по комплексу относительных координат анализировали с помощью дискриминантного анализа. Для оценки флуктуирующей асимметрии (ФА) листовой пластинки *Betula pendula* и *Tilia cordata* использован материал, отобранный по методике оценки состояния природных популяций по стабильности развития (Захаров и др., 1996). В начале исследования величины ФА проведен статистический анализ каждого промера по рекомендациям, изложенным в работах Д.Б. Гелашвили (2004) и А.А. Зорина (2007) для определения присутствия двух других форм асимметрии, сопутствующих флуктуирующей асимметрии (Palmer, Strobeck, 2003): анти-

симметрии (Кожара, 1985; Polmer, Strobeck, 1986), при которой признак полностью исключается из рассмотрения, и направленной асимметрии (Кряжева и др, 1996; Гелашвили, 2004), при обнаружении которой рекомендуется ко всем промерам с одной стороны прибавлять (или отнимать) значение этого смещения. Далее для каждого промеренного листа вычисляли относительные величины асимметрии каждого признака. Величину ФА оценивали с помощью интегрального показателя - величины среднего относительного различия между сторонами на признак (средняя арифметическая отношения разности к сумме промеров листа слева и справа, отнесенная к числу признаков) (Захаров и др., 2000).

$$FA = L - R / L + R$$

Для оценки отклонений состояния организма по величине ФА использовали нормативную 5-балльную шкалу, разработанную для берёзы повислой в европейской части России (Чистякова, 1997; Метод. рекомендации ..., 2003), а также модифицированную 5-балльную шкалу, разработанную Д.Б. Гелашвили и И.В. Мокровым (1999), которая за счет увеличения динамического диапазона позволяет более гибко учитывать фактические градации качества среды, в том числе с учетом региональных особенностей (Мокров, 2005).

В работе использованы следующие статистические методы: критерий Вилкоксона-Манна-Уитни и парный критерий t-Стьюдента, коэффициент ранговой корреляции Спирмена, критерий Крускала-Уоллиса (Холлендер, Вулф, 1983), проверку наблюдаемых распределений с нормальным проводили с помощью критерия Колмогорова-Смирнова, применяли методы многомерной статистики – кластерный анализ, дискриминантный анализ (Жукова, 2008; Шипунов, Шмелев, 2010).

При обработке данных использовали компьютерные пакеты « Statistica 5.5» и « SPSS 11.5».

ГЛАВА 4. ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ, ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И СТРУКТУРНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В РАЗНЫХ УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Вариабильность морфометрических параметров листьев *Betula pendula* Roth., *Tilia cordata* Mill и *Acer platanoides* L. в зависимости от условий произрастания и сезонных условий.

Изучение изменчивости 4 абсолютных показателей измерений листьев (Ll, Dmx, Lч, S) показало, что в течение летнего периода (июнь-июль-август) в разные годы наблюдения отмечено значительное варьирование исследуемых параметров листьев у особей видов *Betula pendula* Roht, *Tilia cordata* Mill и *Acer platanoides* L. Сравнительная динамика изменчивости исследуемых признаков отдельно для каждого вида описана в тексте и представлена графически в диссертации.

При анализе длины листовой пластинки выяснилось, что в 2009 и 2011гг. показания параметра у листьев особей березы повислой из магистральных участков Б2 (71,45мм – 2011г.), Б5 (67,17мм – 2009г. и 72,51мм – 2011г.), Б6 (65,80мм – 2009г. и 68,42мм. – 2011г.), липы мелколистной из частного сектора Л7 (68,36 – 2009 и 2011гг.), клена платановидного из магистральных участков К5 и К6 и из частного сектора К7 (от 145,59 до 171,00мм в 2009-2011гг.) превышали более чем на 8 мм, 20 мм и 36 мм соответственно длину листьев особей данного вида из контрольного (Б1, Л1, К1) и парковых (Б3, Б4, Л3, Л4, К3) участков. Данная тенденция характерна и для листьев особей липы мелколистной и клена платановидного в 2010г: длина листовой пластинки особей на магистральных участках (Л2 – 83,67мм, Л5 – 75,34мм, К5 -157,65мм, К6 – 174,34мм) превышала длину листовой пластинки у особей из лесного фитоценоза более чем на 30мм. Обратная картина наблюдалась в этом году для особей березы повислой: длина листовой пластинки у особей из контрольного (Б1 – 75,81мм) и парковых (Б3 – 83,67мм; Б4 – 77, 10мм) участков сравнительно больше значения данного параметра листовой пластинки особей из магистральных участков (Б2 – 59,40мм, Б5 – 68,08мм, Б6 – 67,28мм).

Изученные нами листья особей березы повислой, липы мелколистной и клена платановидного из разных мест произрастания отличаются также и по относительной ширине листовой пластинки. В течение всего периода исследований у клена платановидного минимальные размеры данного параметра сохранились на контрольном участке (К1 – до 160,51мм), а максимальные – на участках К4, К5, К6, К7 (от 202,81мм до 231,53мм в 2009г.; от 203,54мм до 237,66мм в 2010г.; от 221,23мм до 232,06мм в 2011г.). Если в 2009г. у листьев особей *T. cordata* на контрольном участке были отмечены максимальные значения параметра (Л1 – 77,00мм), здесь листья более чем на 10мм шире листьев особей из остальных участков исследования, то в 2010г. листья особей *T. cordata* из магистральных

участков Л6 и Л2 имели максимальные показатели данного параметра (до 74,32мм).

На основании сравнительной характеристики ширины листовой пластинки особей *B. pendula* с разных мест произрастания установлена значительная вариабельность данного параметра. Максимальные размеры в основном зафиксированы у листьев особей березы повислой из магистральных участков гг. Воткинск (Б6 – 51,77 в 2009г., 56,05мм в 2011г.) и Агрыз (Б2 – от 50,78 до 56,63мм в 2009-2011гг.), а также из паркового участка г. Ижевск (Б4 от 53,28 до 61,13мм в 2009-2011гг.). У листьев особей березы повислой из магистрального участка г. Ижевск (Б5) и частного сектора г. Воткинск в 2010г. ширина листовой пластинки, сравнительно с листьями особей из контрольного участка (Б1), меньше на 5 мм. Тогда как в 2009 и 2011гг. между этими тремя участками нет достоверных отличий по относительной ширине листовой пластинки.

Таким образом, изучение длины и ширины листовой пластинки особей березы повислой, липы мелколистной и клена платановидного из контрольного и опытных участков дает отчетливую количественную характеристику изменений: увеличение и уменьшение морфометрических параметров листа древесных пород из магистральных участков гг. Ижевск и Воткинск, что вероятно связано с особенностью экологических условий произрастания и адаптации к ним у исследованных видов. Необходимо отметить, что рост листовой пластинки клена платановидного из магистральных участков гг. Ижевск (К5) и Воткинск (К6) в 2010г., березы повислой из магистрального участка г. Агрыз (Б2) и паркового участка г. Ижевск (Б4) в 2009г. зарегистрирован с июля по август месяц, тогда как до середины вегетации параметры листа имели минимальные значения.

Результаты, полученные при изучении длины черешка у листьев березы повислой во все годы исследования, липы мелколистной в 2009г., клена платановидного в 2009 и 2010гг., указывают на уменьшение этого параметра у листьев особей из магистральных участков, по сравнению с листьями особей из контрольного и парковых участков. Максимальная длина черешка у всех трех видов в основном зарегистрирована на контрольном и парковых участках, что объясняется густонаселённостью деревьев и недостатком освещенности этих участков. Более длинный черешок способствует обеспечению оптимального положения листа в пространстве, так как уменьшает степень скопления листьев вокруг стебля и тем самым уменьшает взаимозатенение (Николаева, 2004).

Как правило, признаки листовой пластинки изменяются сопряженно друг с другом (Бабаев, 2000). На основании исследования корреляции абсолютных признаков листьев обнаружено, что длина и ширина листовой пластинки у березы повислой, длина листовой пластинки и длина черешка у листьев липы мелколистной, произрастающих на магистральных участках гг. Агрыз и Воткинск, ширина листовой пластинки и длина черешка у листьев клена платановидного, произрастающей на парковом участке г. Ижевск, изменяются непропорционально друг другу.

Анализ площади ассимиляционной поверхности листовой пластинки березы повислой и липы мелколистной, так же как и линейных параметров, за три года исследования показал их значительное варьирование в зависимости от экологических и климатических условий.

Так, в 2009г., если в начале и в середине вегетации площадь листьев липы мелколистной из контрольного, парковых и магистральных участков примерно одинакова, то в конце вегетации площадь листа липы мелколистной из контрольного участка (Л1) в среднем примерно на 15см^2 больше площади листа липы мелколистной из остальных участков исследования. Мелкие листья характерны для деревьев *T. cordata* из магистрального участка г. Агрыз (Л2 - $31,28\text{ см}^2$), что указывает на проявление «классической» реакции ксероморфности листовой пластинки в условиях урбаноcреды. Площадь листьев березы повислой в 2009г. во всех участках исследования примерно одинакова, и между ними нет достоверных отличий ($p>0,05$), кроме листьев березы повислой из паркового участка г. Ижевск (Б4), у которых площадь листовой пластинки больше на 10 см^2 .

В 2010 г. площадь листа у особей *B. pendula* из контрольного (Б1) и парковых участков (Б3, Б4) превышает таковую у особей *B. pendula* из магистральных участков ($p<0.01$). В городе растения зачастую оказываются в условиях недостаточного водообеспечения, особенно в аномальную жару 2010 года, поэтому явление ксерофитизации листового аппарата можно рассматривать как адаптивную реакцию, направленную на более экономное расходование влаги растениями в городе. Обратная картина наблюдается у листьев липы мелколистной в 2010г. и у листьев березы повислой в 2011г.: в течение всего вегетационного периода у древесных пород из магистральных участков (Б2, Б5, Б6, Л2, Л5, Л6) отмечены более крупные листья по сравнению с листьями деревьев из контрольного (Б1, Л1), паркового (Л4) участков и листьев деревьев из частного сектора (Л7). Подобная закономерность отмечается в работах других исследователей (Плюто, 1983; Кавеленова, 2003; Бухарина, 2004; Турмухаметова, 2005). Возможно, на рост листовой пла-

стинки влияют отдельные химические ингредиенты, содержащиеся в воздухе, которые выступают в качестве катализаторов деления клеток (Сейдафоров, 2012).

В 2011 г. между листьями липы мелколистной по площади листовой поверхности достоверных отличий не выявлено ($p > 0,05$). Площадь листа варьирует в пределах от 20,71 до 26,58 см².

Анализируя площадь листовой пластинки клена платановидного, необходимо отметить следующее: значение параметра колеблется в пределах 63,97 – 207,16 см². Причем наибольшие размеры, также как и при анализе линейных параметров, зафиксированы у листьев *A. platanoides* из участков исследования гг. Ижевск (165,83 – 201,80 см²) и Воткинск (145,30 – 207,16 см²). Наименьшие размеры отмечены на контрольном участке (К1 - от 100,23 см² до 162,74 см²) и на парковом участке г. Агрыз (К3 - от 63,97 см² до 134,25 см²). Средние размеры параметра листа характерны для клена платановидного из магистрального участка г. Агрыз (К2).

Изменчивость морфометрических параметров листа *Betula pendula* Roht, *Tilia cordata* Mill и *Acer platanoides* L. в разные годы исследования

Сравнение морфометрических параметров листьев у древесных пород отдельно в каждом местообитании по трем годам исследования проводили на основании вычисления средних значений 7 признаков (Ll, Dmx, Lч, SDmxT, SDmxB, DmnT, DmnB) и определения достоверности различия этих средних по t-критерию Стьюдента.

В ходе проведенных исследований установлено значительное влияние на размеры и форму листовой пластинки изучаемых особей не только техногенного загрязнения окружающей среды, но и аномально жаркого лета 2010 года. Так, в середине вегетационного периода у особей березы повислой произрастающих на магистральной посадке г. Воткинск (Б6) зафиксированы листья более вытянутой треугольно-ромбовидной формы, а для листьев липы мелколистной из магистрального участка г. Ижевск (Л5) характерны удлинённые листья. Листья особей липы мелколистной из магистрального участка г. Воткинск (Л6) имеют более широкие формы листовой пластинки, по сравнению с листьями с других участков исследования, что возможно связано с тем, что рост идет за счет клеток основания и средней части листа. Данная тенденция отмечена и в работе Н.В. Бессоновой (2010).

Уменьшение метрических параметров листьев у клена платановидного в 2010г. в сравнении с остальными годами исследования зафиксировано на магистральных участках городов. На морфометрические параметры листьев

липы мелколистной не повлияла засуха 2010г., однако, как показывает анализ, в 2011г. листья липы из всех участков исследования характеризуются меньшими размерами.

Результаты кластерного и дискриминантного анализ морфометрических параметров листьев *Betula pendula* Roth. и *Tilia cordata* Mill. при описании условий мест произрастания

Результаты анализов показывают, что особи *B. pendula* и *T. cordata* на магистральных участках отличаются от особей данных видов из парковых участков исследуемых городов по форме и структуре листовой пластинки (рис.2).

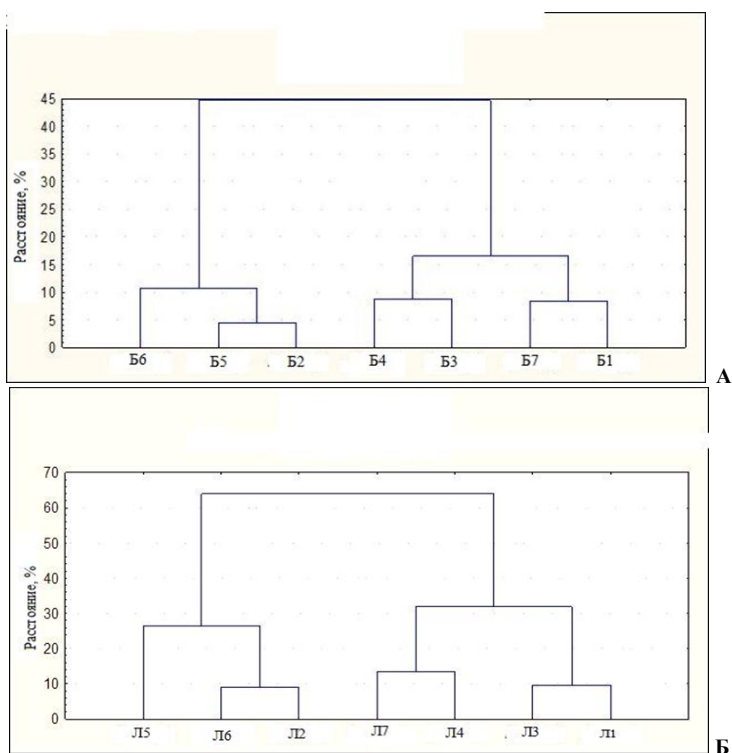


Рисунок 2. Сходство мест произрастаний по морфометрическим параметрам листьев березы повислой и липы мелколистной за три года исследования:

А - *Betula pendula* Roth; Б - *Tilia cordata* Mill

Примечание: Расположение участков см. на рис.1.

По морфометрическим параметрам листа березы повислой и липы мелколистной участки исследования делятся на два кластера (рис.2). В первый кластер входят магистральные участки исследуемых городов (Б2, Б5, Б6, Л2, Л5, Л6), для листьев изучаемых древесных пород этих участков характерны листья с широким основанием, а также с удлинненной формой листа. Во второй кластер относятся участки Л1, Л3, Л4 и Л7, которые характеризуются примерно одинаковыми среднего размера листьями.

Анализ формы листовых пластинок трех исследуемых видов с применением метода геометрической морфометрии

С помощью метода геометрической морфометрии установлено, что в условиях урбанизированной среды наименее изменчивы формы листьев у *T. cordata*, тогда как удлинненная ромбовидная форма листьев *B. pendula* и удлинненная или широкая форма, с расширенной центральной лопастью, листовой пластинки *A. platanoides* являются отклоняющимися формами листовой пластинки изучаемых выборок особей (рис. 3).

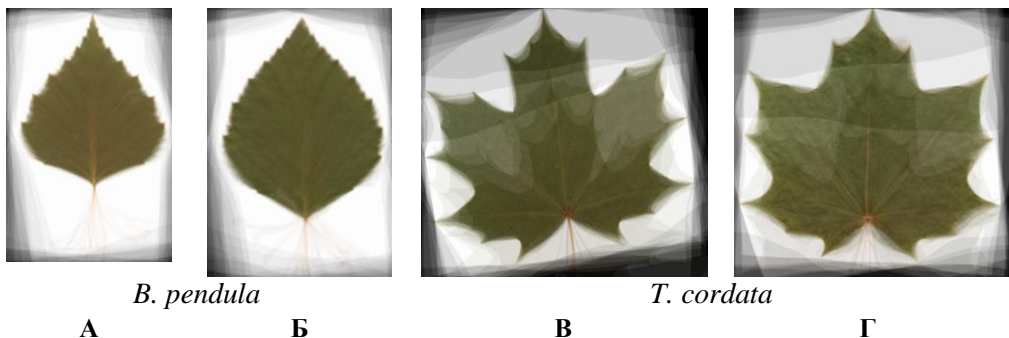


Рисунок 3. Эталонная конфигурация листовой пластинки *Betula pendula* Roth. и *Acer platanoides* L.: **А**- треугольно-ромбовидная форма листовой пластинки; **Б** - удлинненная ромбовидная форма листовой пластинки; **В** - округлая форма, три верхние лопасти почти равны между собой; **Г** - широкая форма, с расширенной центральной лопастью, листовой пластинки.

Листовые пластинки характеризуются следующими структурными изменениями в условиях урбанизированной среды (рис. 4): у березы повислой отличия наблюдаются у основания листовой пластинки липы мелколистной – у основания и верхушки листовой пластинки, клена

платановидного – в области трех верхних и двух нижних лопастей, основания листовой пластинки, а также отмечено растяжение одной из боковых верхних лопастей листовой пластинки.

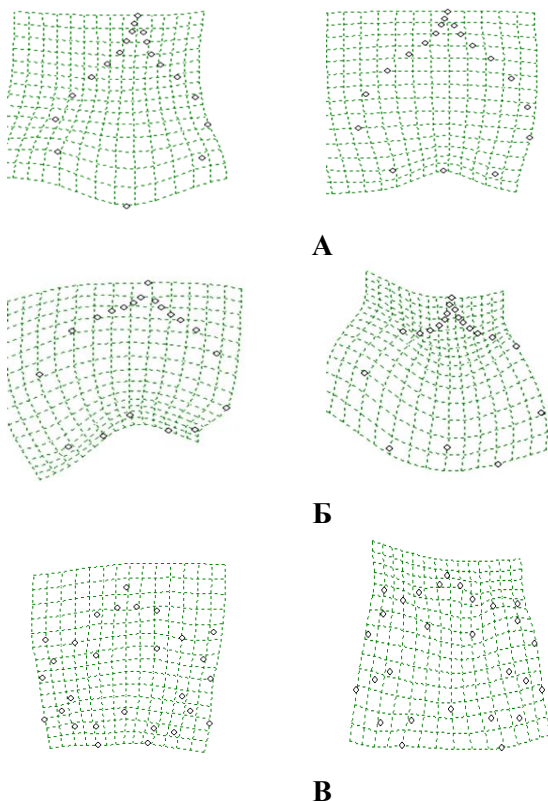


Рисунок 4. Структурные изменения листовой пластинки:
А - *Betula pendula* Roht; **Б** - *Tilia cordata* Mill; **В** - *Acer platanoides* L

Изменения формы листовой пластинки в виде векторов и разнообразие форм листьев в пространстве канонической дискриминантной функции подробнее описаны в тексте работы (глава 4).

ГЛАВА 5. ОСОБЕННОСТИ АСИММЕТРИИ ЛИСТОВОЙ ПЛАСТИНКИ У ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Изучение признаков для оценки флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* и *Tilia cordata*

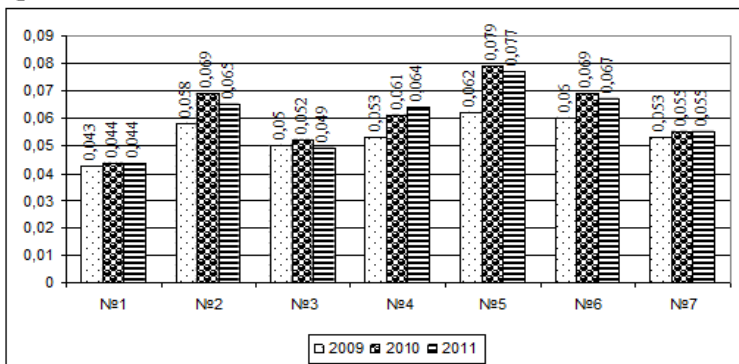
Исследованы признаки листовой пластины *Betula pendula* и *Tilia cordata*, применяемые для оценки стабильности развития в 7 участках исследований, расположенных на разном расстоянии друг от друга. Отдельно анализировали распределение значений промеров листовой пластинки, различие между левой и правой стороной листовой пластинки. Поведен статистический анализ промеров на определение присутствия двух других форм асимметрии: антисимметрии и направленной асимметрии, сопутствующие флуктуирующей асимметрии (Palmer, Strobeck, 2003). Статистический анализ проводился по общепринятой методике (Лакин, 1990) с помощью статистического пакета SPSS 11.5. Подробное описание статистического анализа характера асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roth и *Tilia cordata* Mill освещены в тексте диссертации (глава 5).

Анализ распределения значений промеров листовой пластинки березы повислой показал, что все пять признаков достоверно подчиняются нормальному закону, тогда как у листовой пластинки липы мелколистной третий признак отклоняется от нормального распределения значений. Антисимметрия у анализируемых признаков обоих видов отсутствует. Значения анализируемых признаков на листовой пластинке березы повислой, произрастающей на контрольном (Б1) и парковых (Б7, Б3) участках, достоверно больше на левой стороне листовой пластинки, а на магистральных участках (Б2, Б6) – на правой стороне листовой пластинки, что указывает на направленную асимметрию. Выявлена направленная асимметрия также и по 1 и 3 признакам у листьев липы мелколистной из контрольного (Л1) и паркового участка (Л3) с правосторонним смещением центра распределения, а из магистральных участков (Л5, Л6) по 1,2,4,5 признакам с левосторонним смещением центра распределения. Для ликвидации смещения к значениям признака с одной стороны листьев прибавляли среднюю разность между этими промерами. После этого для данного признака стало возможным вычисление показателей флуктуирующей асимметрии.

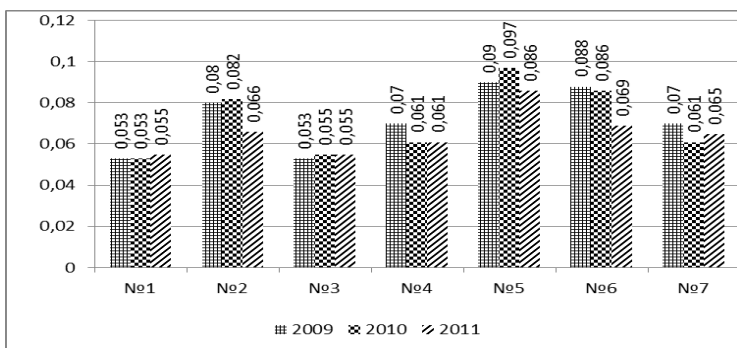
Анализ межгодовых и внутригодовых межобъектных различий флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula* Roht и *Tilia cordata* Mill

За период с 2009 по 2011гг. исследования собрано и проанализировано 126 выборки листьев березы повислой и липы мелколистной, произрастающих в магистральных и парковых участках гг. Агрыз, Воткинск и Ижевск.

В среднем за период исследования величина интегрального показателя стабильности развития у березы повислой из разных точек местообитания варьировала в пределах от 0,043 до 0,079, а у липы мелколистной – от 0,053 до 0,097 (рис.5).



А



Б

Рисунок 5. Величина интегрального показателя стабильности развития *Betula pendula* Roht и *Tilia cordata* Mill в условиях урбанизированной среды:

А - *Betula pendula* Roht; Б - *Tilia cordata* Mill.

Примечание: №1 – Б1,Л1; №2 – Б2,Л2; №3 – Б3,Л3; №4 – Б4,Л4; №5 – Б5,Л5; №6 – Б6,Л6; №7 – Б7,Л7. Расположение участков см. на рис.1.

Сравнительно с контрольным участком, высокий показатель нарушения стабильности развития выявлен у деревьев, произрастающих в магистральных участках с большой транспортной и промышленной нагрузкой (от 0,058 до 0,079). Максимальный показатель ФА характерен для листовых пластинок березы повислой (рис.5) на магистральных участках гг. Ижевск (от 0,062 до 0,079), Агрыз (от 0,058 до 0,069) и Воткинск (от 0,060 до 0,069), а

для листьев липы (рис.5) - на магистральном участке г. Ижевск (от 0,086 до 0,097). Подобную закономерность увеличения показателя ФА листьев березы повислой и липы мелколистной в техногенной среде указывают Е.М. Рунова (2005), А.А. Зорина и А.В. Коросов (2007), С.Г. Баранов (2010), А.Л. Агафонова (2011) и др. Для всех вышеперечисленных участков исследования характерен высокий уровень достоверности различий с контрольной выборкой – по критерию Стьюдента значимость $p=0,01$.

Судя по величине показателя ФА, относительно благоприятные условия наблюдаются в парковых участках гг. Агрыз (Б3 от 0,049 до 0,052) и Ижевск (Б4 от 0,053 до 0,064), а также в частном секторе г. Воткинск (Б7 от 0,053 до 0,055) (рис.5). Минимальное значение показателя ФА характерно для листьев липы мелколистной из паркового участка г. Агрыз (Л3 от 0,053 до 0,055), а между участками: частный сектор г. Воткинск (Л7 от 0,061 до 0,070) и парковый участок г. Ижевск (Л4 от 0,061 до 0,070), а также магистральными участками гг. Агрыз и Воткинск (Л2 от 0,066 до 0,082 и Л6 от 0,069 до 0,088 соответственно) нет достоверных отличий по уровню флуктуирующей асимметрии листьев ($p>0,05$) (рис.5). На этих участках значение интегрального показателя стабильности развития примерно одинаково.

Таким образом, на основании вычисления среднего значения ФА листовых пластинок особей *Betula pendula* и *Tilia cordata*, места произрастания этих видов древесных пород в условиях урбанизированной среды условно можно разделить на 3 группы:

- первая группа – это группа экстремального загрязнения, к ней можно отнести магистральные участки гг. Ижевск, Воткинск и Агрыз, где среднее значение ФА составляет 0,067. Полученные данные свидетельствуют о сильном негативном воздействии на листовые породы деревьев, вызываемом автотранспортным движением и промышленностью.
- вторая группа – к ней относится парковый участок г. Ижевск и частный сектор г. Воткинск. Среднее значение ФА – 0,059. Данную группу условно можно охарактеризовать как территория, подвергающаяся воздействию средней тяжести. Обнаружение значимых изменений величины данного показателя является свидетельством изменения состояния организма.
- к третьей группе относятся заброшенный парк г. Агрыза и частный сектор г. Воткинск. Среднее значение ФА – 0,052. Интегральный показатель стабильности развития в данной группе свидетельствует о незначительных нарушениях гомеостаза развития и об относительно благоприятной экологической обстановке.

В целом можно сделать вывод о том, что уровень загрязнения в самих городах неоднозначен. Определенные районы характеризуются неблагоприятными условиями для существования растений, в других – условия жизни значительно лучше. Исходя из этого, для полной оценки нарушения стабильности развития в исследуемых участках использовали 5-балльную шкалу оценки отклонений состояния организма от условной нормы.

Качество среды исследуемых участков, согласно нормативной шкале балльной оценки стабильности развития березы повислой, характеризуется 3-5 баллами, а по липе мелколистной - 4-5 баллами (табл.1). За весь период наблюдения парковые участки и участки частного сектора характеризуются как загрязненные, а магистральные участки – как места произрастания, где растения находятся в сильно угнетенном состоянии.

Таблица 1

Значения балльной оценки качества среды в участках исследования, оцененные по нормативной (Чистякова, 1997; Методические рекомендации..., 2003) шкале для березы повислой и липы мелколистной

Балл	Величина показателя ФА по нормативной шкале	Характеристика	Точки исследования 2009г	Точки исследования 2010г	Точки исследования 2011г
I	<0,040	Условная норма	-	-	-
II	0,040-0,044	Растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов.	Б1	Б1	Б1
III	0,045-0,049	Загрязненные районы	-	-	Б3
IV	0,050-0,054	Сильно загрязненные районы	Б3, Б4, Б7, Л1, Л3	Б3, Л1	-
V	>0,054	Критическое значение, крайне неблагоприятные условия, когда растения находятся в сильно угнетенном состоянии	Б2,Б5,Б6,Л2, Л3,Л4,Л5,Л6, Л7	Б2,Б4,Б5,Б6,Б7, Л2,Л3,Л4,Л5,Л6 Л7	Б2,Б4,Б5,Б6, Б7,Л1,Л2,Л3, Л4, Л5, Л6,Л7

Показатель ФА может варьировать и у растений, произрастающих на территориях, не затронутых антропогенной деятельностью, т.к. ФА является неспецифическим индикатором суммарного негативного воздействия на организм. В наших исследованиях установлено, что во все годы исследования контрольный участок оценивается в 2 (по березе повислой «начальное (не-

значительное) отклонение от нормы») и 4 (по липе мелколистной «сильно загрязненный район») балла. Несущественное повышение асимметрии можно объяснить в данной точке угнетенностью березы и липы другими видами.

Более корректную оценку качества среды позволяет получить модифицированная шкала, разработанная Д.Б. Гелашвили и И.В. Мокровым (1999), которая за счет увеличения динамического диапазона позволяет более гибко учитывать фактические градации качества среды, в том числе с учетом региональных особенностей (Мокров, 2005).

Согласно модифицированной балльной шкале оценки стабильности развития березы повислой (табл.2) в 2009г все три парковых участка оцениваются в 3, а магистральные участки – в 4 балла. В 2010-2011гг заброшенный парк г. Агрыз (Б3) и частный сектор г. Воткинск (Б7) оцениваются в 3, парковый участок г. Ижевск (Б4) - в 4, а магистральные участки городов (Б2, Б5, Б6) – в 5 баллов.

Таблица 2

Значения балльной оценки качества среды в участках исследования, оцененные по модифицированной (Гелашвили, Мокров, 1999) шкале для березы повислой и липы мелколистной

Балл	Величина показателя ФА по модифицированной шкале	Характеристика	Точки исследования 2009г	Точки исследования 2010г	Точки исследования 2011г
I	<0,037	Условная норма	-	-	-
II	0,038-0,046	Растения испытывают слабое влияние неблагоприятных факторов.	Б1	Б1	Б1
III	0,047-0,055	Загрязненные районы	Б3, Б4, Б7, Л1, Л3	Б3, Б7, Л1, Л3	Б3, Б7, Л1, Л3
IV	0,056-0,064	Сильно загрязненные районы	Б2, Б5, Б6	Б4, Л4, Л7	Б4, Л4, Л7
V	>0,064	Критическое значение, крайне неблагоприятные условия, когда растения находятся в сильно угнетенном состоянии	Л2, Л4, Л5, Л6, Л7	Б2, Б5, Б6, Л2, Л5, Л6	Б2, Б5, Б6, Л2, Л5, Л6,

По модифицированной шкале балльной оценки стабильности развития липы мелколистной (табл. 2) контрольный (Л1) и парковый участок г. Агрыз (Л3) оцениваются в 3 балла, парковый участок г. Ижевск (Л5) и участок из

частного сектора г. Воткинск (Л17) – в 4 балла, а магистральные участки исследуемых городов (Л2, Л5, Л6) - в 5 баллов.

При изучении межгодовых различий (временной динамики) ФА листовой пластинки березы повислой и липы мелколистной (рис.4) на исследуемых территориях по комплексу признаков выявлено, что значения ФА листовой пластинки березы повислой существенно выше в 2010г., чем в 2009 и 2011, тогда как у липы мелколистной – нет существенной разницы между годовыми показателями ФА.

ВЫВОДЫ

1. Комплексный сравнительный анализ морфометрических, геометрических и структурных признаков листьев показал, что у особей видов *Betula pendula* Roht, *Tilia cordata* Mill и *Acer platanoides* L., произрастающих в гг. Ижевск, Воткинск и Агрыз проявляются разнонаправленные отличия в размерах и форме листовой пластинки, обусловленные особенностью экологических условий произрастания и адаптации к ним.

2. В результате сравнительного анализа морфометрических параметров листьев древесных растений отмечено увеличение площади ассимилирующей поверхности листьев, что, скорее всего, связано с влиянием отдельных химических элементов, содержащихся в воздухе, выступающих в роли катализаторов при делении клеток листовой пластинки, и уменьшение длины черешка у *B. pendula* (на 9,6 см² площади листа; на 2,5 мм длина черешка) и *A. platanoides* (на 5,9 см² площади листа; на 12 мм длина черешка) на магистральных участках гг. Ижевск и Воткинск.

3. При анализе вариабельности морфометрических параметров листьев выявлены две экологические стратегии роста и развития листьев древесных растений, направленных на адаптацию к городской среде: с одной стороны ксерофитизация, установленная в листовых пластинках у особей *B. pendula*; с другой – увеличение длины и ширины листовой пластинки у листьев *T. cordata* на магистральном участке в г. Ижевске и в частном секторе г. Воткинска, а также у особей *A. platanoides* на магистральных участках в гг. Ижевск и Воткинск.

4. В результате изучения сезонной динамики изменчивости морфометрических параметров листьев древесных растений отмечена минимализация развития листьев с июня по июль у *B. pendula* и *A. platanoides* на территории гг. Ижевск и Агрыз. По мере адаптации к

условиям среды, с июля по август, впоследствии происходит активное увеличение листовой пластинки почти на 15мм.

5. Анализ геометрических и структурных признаков листьев выявил, что листья особей *B. pendula* и *T. cordata* на магистральных участках отличаются в основном от листьев особей данных видов из парковых участков исследуемых городов более удлиненной формой контура и широким основанием листовой пластинки.

6. Применение метода геометрической морфометрии позволило установить, что в условиях урбанизированной среды наиболее изменчивы формы листовых пластинок у особей *B. pendula* и *A. platanoides*, что позволяет использовать эти виды в фитоиндикации урбанизированной среды. Тогда как листья *T. cordata* имеют наименее изменчивые формы.

7. На основании вычисления среднего значения флуктуирующей асимметрии признаков листовой пластинки *B. pendula* и *T. cordata* все три города оценены от трех до пяти баллов. Установлено, что в экологически различающихся местах произрастания древесных растений показатель флуктуирующей асимметрии их листовой пластинки разный: выше – на магистральных участках; существенно ниже в парковых участках и в частном секторе городов. Увеличение коэффициента флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой в 2010г. на 0,036 единиц, сравнительно с двумя другими годами, показало неблагоприятное воздействие аномально жаркого лета на их развитие.

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ИЗДАНИЯХ ПЕРЕЧНЯ ВАК МОН РФ

1. **Хузина Г.Р.** Влияние урбаносреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth.) // Вест. Удм. ун-та. – 2010. - Вып.3. – С. 53-57.

2. **Хузина Г.Р.** Характеристика флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листа липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) // Вест. Удм. ун-та. – 2011. – Вып.3. – С. 47-52.

3. **Хикматуллина Г.Р.** Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаносреды // Вест. Удм. ун-та. – 2013. – Вып.2. - С. 48-57.

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ДРУГИХ ИЗДАНИЯХ

4. **Хузина Г.Р.** Флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков листа березы повислой (*Betula pendula*) в оценке состояния урбаносреды //

Мат-лы VII Межд. науч.-практ. конф. «Образование и наука без границ – 2011». – Пшемысль, 2011. – Т.25. – С. 57-61.

5. **Хузина Г.Р.** Абсолютные показатели и индексы формы листьев липы мелколистной в условиях урбаносреды // IX Зырянские чтения: Мат-лы Всероссийской науч.-практ. конф. – Курган: Изд-во Курганского государственного университета, 2011. – С. 206-207.

6. **Хузина Г.Р.** Морфометрические параметры листа липы мелколистной в оценке состояния урбаносреды // Мат-лы XVI Межд. экологической студенческой конференции «Экология России и сопредельных территории». – Новосибирск, 2011. – С. 51.

7. **Хузина Г.Р.** Изменчивость морфометрических параметров листовых пластинок березы повислой в условиях урбаносреды // Мат. II Всероссийской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с междунар. участием. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2012. – С. 210-212.

Отпечатано с оригинал-макета заказчика

Подписано в печать __.__.2013

Тираж 100 экз. Заказ №

Типография ФБОУ ВПО «Удмуртский государственный университет»
426034 г. Ижевск, ул. Университетская, 1, корпус 4